

Projection lens system

Patent Number: ☐ US5170207

Publication date: 1992-12-08

Inventor(s): KUBA KEIICHI (JP); TEZUKA YOSHIKO (JP)

Applicant(s): OLYMPUS OPTICAL CO (JP)

Requested Patent: ☐ JP4214516

Application Number: US19910806126 19911212

Priority Number(s): JP19900410271 19901212

IPC Classification: G03B27/42

EC Classification: G02B13/14, G02B13/24, G02B27/00K2, G03F7/20T16

Equivalents:

Abstract

The present invention relates to a projection lens system well-fit for baking integrated circuit patterns onto silicon wafers using a light source having wavelengths ranging from an ultraviolet wavelength zone to a vacuum ultraviolet wavelength zone. This projection lens system is characterized by comprising a plurality of lens elements including a Fresnel lens element having negative dispersion characteristics, said Fresnel lens being located at a position lying somewhere in said projection lens system with the exception of the pupil thereof and satisfying the following condition: $2h_{MAX}/3$

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-214516

(43) 公開日 平成4年(1992)8月5日

(51) Int.Cl.⁵

G 0 2 B 13/24

識別記号

庁内整理番号

8106-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平2-410271

(22) 出願日 平成2年(1990)12月12日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 手塚 佳子

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

ンパス光学工業株式会社内

(72) 発明者 久芳 圭一

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

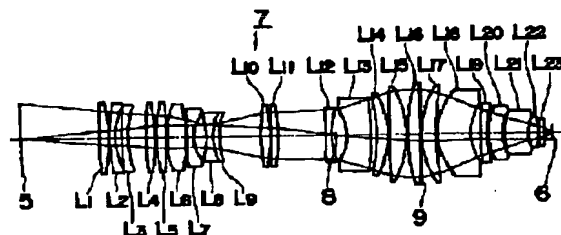
ンパス光学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 投影レンズ系

(57) 【要約】

【目的】 レンズとして使用できる硝材が限られている場合にも色収差を補正できる縮小投影露光装置用の投影レンズ系を提供する。

【構成】 複数のレンズから成る投影レンズ系の構成要素として逆分散特性を持つフレネルレンズを設ける。フレネルレンズを設ける位置は、投影レンズ系の瞳以外の位置で且つ $2 h_{max} / 3 \leq h$ という条件を満足する位置である。ここで、 h_{max} は前記投影レンズ系内における最大マージナル光線高、 h は前記フレネルレンズの位置におけるマージナル光線高である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 逆分散特性を持つフレネルレンズを含む複数のレンズからなり、該フレネルレンズを瞳以外の位置で且つ以下の条件を満足する位置に配置したことを特徴とする投影レンズ系。 $2h_{max}/3 \leq h$ 但し、 h_{max} は前記投影レンズ系内における最大マージナル光線高、 h は前記フレネルレンズの位置におけるマージナル光線高である。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はIC、LSI等の微細な回路パターンを半導体基板上に露光する投影露光装置に用いられる投影レンズ系に関し、特にエキシマレーザー等の300ないし150nm程度の紫外から真空紫外におよぶ波長域の光源を用いて集積回路パターンをシリコンウエハ上に焼き付ける際に好適な投影レンズ系に関するものである。

【0002】

【従来技術】 従来より、IC、LSI等の集積回路パターンをシリコンウエハ上に焼き付けるために縮小投影露光装置（ステッパ）が用いられているが、近年の集積回路の高集積化に伴い、この種の装置に用いられる投影レンズ系には非常に高い解像力が要求されるようになってきている。一般に、投影レンズ系による投影像の解像力は使用する光の波長が短くなる程向上するため、集積回路パターンの焼き付けに使用される光の短波長化が進んでいる。現在ステッパで使用されている光源の波長は通常g線（436nm）またはi線（365nm）であるが、これらの波長の光を用いる限り64MDRAMの製造に必要とされる0.3μm前後の高解像力を得ることは非常に困難である。そこで、より波長の短い次世代の光源としてエキシマレーザーのKrF（248nm）やArF（193nm）が注目されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 エキシマレーザー光は波長が非常に短いため、通常ガラスでは透過率が不足して投影レンズ系の材料として使用できない。透過率の点では石英（SiO₂）又は蛍石（CaF₂）が使用できるが、蛍石は材質が柔らかく加工しにくいという問題があるので、実用上レンズの材料は石英に限られてしまう。このため、エキシマレーザーを光源とする縮小投影露光装置用の投影レンズ系は石英のみ、すなわち単一の硝材のみで構成されることになり、色収差の補正が困難となる。したがって、所望の解像力を確保するために*

$$(n-1)(dt/ds) = \sin\theta_1 - \sin\theta_2 \dots (1)$$

【0008】 一方、フレネルレンズによる回折の式は、 m を回折次数、 λ を波長、 p を格子のピッチとすると、 $m\lambda/p = \sin\theta_1 - \sin\theta_2 \dots (2)$ である。式(1)、(2)より、

*は、色収差を補正する必要がない程度までエキシマレーザー光源の発する光の波長帯域を狭帯域化する必要がある。ところが、エキシマレーザーはその原理上、狭帯域化することによりレーザーの出力が低下し、且つ安定的に発振させることがより難しくなる。縮小投影露光装置においては光源の出力が低下するとスループットが低下するため、エキシマレーザーを使用する場合には狭帯域化はなるべく避けなければならず、色収差の問題との間に矛盾が生ずる。

10 【0004】 本発明は、上記の問題点を踏まえて、レンズとして使用できる硝材が限られている場合にも色収差を補正できる縮小投影露光装置用の投影レンズ系を提供することを目的としている。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明に係る投影レンズ系は、複数のレンズからなっており、その内の少なくとも1つのレンズが逆分散特性を持つフレネルレンズとなっている。該フレネルレンズは前記投影レンズ系の瞳以外の位置で且つ以下の条件を満足する位置に配置される。

$$2h_{max}/3 \leq h$$

但し、 h_{max} は前記投影レンズ系内における最大マージナル光線高、 h は前記フレネルレンズの位置におけるマージナル光線高である。以下、本発明を詳細に説明するが、まず初めにフレネルレンズの逆分散特性について説明する。

【0006】 第1図は本発明で用いられるフレネルレンズの光軸を含む断面図である。フレネルレンズ1は、基板上にブレイジングされた（基板平面に対して傾斜した）同芯円状の溝を切ることにより構成された球面あるいは非球面を持つ平凸レンズの形状を有している。この種のフレネルレンズを通常の屈折系と同様に扱って既存のレンズ設計システムにより設計する手法として、W. C. Sweattの論文（J. Opt. Soc. Am. vol. 169, No. 3, March, 1979）により知られているウルトラ・ハイ・インデックス法がある。

【0007】 第2図はその考え方を説明するために、通常の屈折レンズの光軸を含む断面内を光線が矢印の方向に進行する状態を示す図である。先の論文によれば、レンズ2への光線3の入射角を θ_1 、射出角を θ_2 、光軸方向の座標を t 、レンズの表面に沿った方向の座標を s とすると、レンズの屈折率 n を ∞ 、厚さ t を0とする極限において、光線追跡式は次式により与えられる。

$$m\lambda/p = (n-1)(dt/ds) \dots (3)$$

の関係が成立する。すなわち、フレネルレンズは屈折率 n を ∞ 、厚さ t を0とした通常の屈折レンズと等価の作用を持ち、フレネルレンズのピッチ p は式(3)に基づい

3

て屈折レンズの表面形状を表わす (dt/ds) から求めることができる。

【0009】さて、(2) 式を偏微分して得られる $(Dn/D\lambda)(dt/ds) = m/p$

と(3) 式とから

$$Dn/D\lambda = (n-1)/\lambda \cdots (4)$$

という関係が導かれる。ここで、 $Dn/D\lambda$ は偏微分を表わすものとする。この式により3つの波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 (ここでは $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ とする) に対する薄肉レンズの屈折率 n_1 、 n_2 、 n_3 を求めると、

$$n_3 = n_2 + (Dn/D\lambda)(\lambda_3 - \lambda_2)$$

$$= n_2 + (\lambda_3 - \lambda_2)(n_2 - 1)/\lambda_2$$

$$n_1 = n_2 + (\lambda_1 - \lambda_2)(n_2 - 1)/\lambda_2$$

となる。波長 λ_2 を基準としてこれら3つの波長に対するアッペ数 ν_2 を求めると、上で求めた屈折率を用いて

$$\nu_3 = (n_2 - 1)/(n_3 - n_1)$$

$$= \lambda_2/(\lambda_3 - \lambda_1)$$

となる。 $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ の関係よりこのフレネルレンズのアッペ数は負の値となり、いわゆる逆分散特性を持つことになる。本発明においては、この逆分散特性を利用して単一硝材から成る投影レンズ系の色収差を補正する。

【0010】一般に、レンズ系の色収差を補正するためには薄肉近似において $\Sigma h^2/f \nu = 0$ なる条件を満足することが必要である。しかし、通常の結像系では

$$\Sigma h/f \nu = (1/\nu) \Sigma h/f > 0$$

となるため、完全には色収差を補正できない。ここで h は各レンズにおけるマージナル光線高、 f は各レンズの焦点距離、 ν は各レンズのアッペ数である。しかし、焦点距離が適当な正の値を持つフレネルレンズを用いると、そのアッペ数が負の値を持つので色消し条件を満足させることができる。すなわち、フレネルレンズの位置でのマージナル光線高を h 、フレネルレンズの焦点距離を f 、アッペ数を ν とすると、通常のレンズに起因する項を打ち消して、

$$\Sigma h/f \nu + \Sigma h^2/f \nu_0 = 0$$

とすることができるのである。

【0011】ところで、フレネルレンズの最小ピッチを一定にした場合、フレネルレンズの焦点距離 f は

$$f = kh \quad (k: \text{定数})$$

によって与えられるので

$$h^2/f \nu_0 = h/k \nu_0$$

$$R1 = 702.71500$$

$$R2 = -412.05344$$

$$R3 = 287.93567$$

$$R4 = 121.27410$$

$$R5 = 383.42582$$

$$R6 = 146.23108$$

$$R7 = 287.44640$$

$$D1 = 13.388428$$

$$D2 = 0.1$$

$$D3 = 10.0$$

$$D4 = 9.174659$$

$$D5 = 10.0$$

$$D6 = 27.269701$$

$$D7 = 16.320602$$

$$SiO_2$$

$$SiO_2$$

$$SiO_2$$

$$SiO_2$$

4

となり、フレネルレンズの色消し効果はマージナル光線高 h に比例すると考えて良い。したがって、実用上十分な色収差補正効果を得るためには、フレネルレンズをマージナル光線高の大きい位置に配置する必要がある。具体的には、フレネルレンズにおけるマージナル光線高 h がレンズ系中のマージナル光線高の最大値 h_{max} に対して

$$2h_{max}/3 \leq h \cdots (5)$$

という条件を満足する位置にフレネルレンズを設けることが望ましい。

【0012】本発明ではフレネルレンズを投影レンズ系の瞳から外れた位置に配置しているが、この構成によりフレネルレンズの収差補正作用が軸外収差にも及ぶようになるため、色収差だけでなく非点収差、コマ収差も補正することができるので好ましい。特にフレネルレンズには通常の球面レンズと異なり非常に高い屈折率を持つレンズと等価な作用があるので、諸収差の補正上極めて有用である。また、フレネルレンズのピッチを変えるだけで容易に非球面作用を持たせることができる点も諸収差の補正上好都合である。

【0013】なお、上記のフレネルレンズは一般的に色収差補正に使用できるので、単一の硝材からなるレンズ系に限らず、使用できる硝材にある程度制約がある場合には色収差補正手段として有効である。

【0014】

【実施例】第3図は本発明を適用した投影露光装置用投影レンズ系の一例の光軸を含む断面図である。図中、5は物体面、6は像面、7は投影レンズ系、8は投影レンズ系7の瞳位置、9はフレネルレンズである。この投影レンズ系はレンズ L_0 と L_7 、およびレンズ L_{12} と L_{13} という互いに凹面を向かい合わせたレンズ群を2組備えており、各レンズ群の間に正レンズ群を配置している。この構成により、前記凹面での光線高を比較的小さくして凹面の負の屈折力を強くし、ベッツパールの和の補正を可能としている。レンズ系内でのマージナル光線高の最大値 h_{max} と最小値 h_{min} との比が

$$h_{min}/h_{max} < 1/2$$

となるようにするとより好ましい。このレンズ系の数値データを以下に示す。

【0015】NA=0.42、 $\phi=24$ 、 $\beta=1/5$ 、OB=-120、SK=12.0、EXP=399.9、 $\lambda_2=248.38\text{nm}$

【0016】

R 8=- 413.99164	D 8= 0.1	
R 9= 220.91743	D 9=15.779223	S i O ₂
R10=- 924.03021	D10= 0.1	
R11= 169.88925	D11=31.676503	S i O ₂
R12=- 268.54719	D12= 0.1	
R13=-8604.06718	D13=10.0	S i O ₂
R14= 65.40354	D14=18.437890	
R15=- 146.49874	D15=10.0	S i O ₂
R16= 92.11980	D16= 0.845321	
R17= 96.26337	D17=10.0	S i O ₂
R18= 143.70540	D18=61.243443	
R19= 247.95518	D19=16.399016	S i O ₂
R20=- 288.09993	D20= 0.1	
R21= 3429.89125	D21= 9.996194	S i O ₂
R22=- 471.14586	D22=71.258955	
R23=-1631.62530	D23=10.0	S i O ₂
R24= 140.12340	D24=20.088173	
R25=- 90.29431	D25=36.141002	S i O ₂
R26=-1014.00960	D26=10.514704	
R27=- 252.97273	D27=17.560280	S i O ₂
R28=- 142.68857	D28= 0.1	
R29= 1597.79878	D29=27.236473	S i O ₂
R30=- 168.48984	D30= 0.1	
R31= 919.38449	D31=20.481812	S i O ₂
R32=-1178.90075	D32= 0.1	
R33= 5.65×10 ⁶	D33= 0 (フレネルレンズ)	
R34= ∞	D34= 0.1	
R35= 150.50571	D35=23.320296	S i O ₂
R36= 508.80969	D36= 0.1	
R37= 112.91401	D37=50.0	S i O ₂
R38= 90.23504	D38=15.038476	
R39= 594.95644	D39=10.0	S i O ₂
R40= 181.42134	D40= 0.1	
R41= 109.74640	D41=21.879753	S i O ₂
R42= 68.31087	D42= 3.950723	
R43= 101.99838	D43=35.171066	S i O ₂
R44= 67.75170	D44= 0.1	
R45= 52.25530	D45=14.318985	S i O ₂
R46=- 200.48137	D46= 1.308322	
R47=- 132.18925	D47= 8.0	S i O ₂
R48=- 295.06153		

【0017】数値例において、R_iは各レンズ面の曲率半径、D_iは各レンズ面の間隔、NAは物体側開口数、φは露光範囲の直径、βは縮小投影倍率、OBは物体位置、SKは像位置、EXPは瞳位置、λ_sは設計基準波長である。

【0018】この実施例では、レンズL₁ないしL₂₃がいずれも屈折率が1.50838の合成石英から成っている。一方、フレネルレンズ9は色消し波長をλ₁=248.38nm

m+10pm、λ_s=248.38nm-10pmに設定し、屈折率をn=10001としてウルトラ・ハイ・インデックス法にのっとり設計したものである。このフレネルレンズのアップベ数ν_sは式(3)よりν_s=248.38/(248.37-248.39)=-12419<0となり、負の値になる。第4図および第5図はこのレンズ系の収差曲線図である。

【0019】一方、第6図および第7図はこのレンズ系からフレネルレンズを除去したレンズ系の収差曲線図で

7

ある。第4図・第5図と第6図・第7図とを比較すると、フレネルレンズを利用することにより色収差が良好に補正されていることがわかる。また、色収差のみならず、非点収差・コマ収差等も向上している。

【0020】第8図は投影レンズの各レンズ面におけるマージナル光線の光線高を示す図、第9図はレンズ系中のフレネルレンズの位置を変えた際の色収差補正効果の大きさを示す図である。第8図の横軸の数字はレンズの番号で、数字「1」で示されているのがレンズ L_1 の入射面、その隣がレンズ L_1 の射出面、数字「2」がレンズ L_2 の入射面、・・・のように表示してある。また、第9図の横軸はフレネルレンズを配置したレンズ間隔の番号で、物体とレンズ L_1 の間を「1」、レンズ L_1 と L_2 の間を「2」・・・として示してあり、縦軸は h^2/fv の大きさをフレネルレンズを瞳においた時の値で規格化して表示してある。この図からフレネルレンズはマージナル光線高が高い位置においたほうが色収差補正効果が大きいことが分かる。なお、間隔「18」「21」「22」にフレネルレンズを配置した場合については色収差補正効果を計算していないため、空白とした。

【0021】第8図より、レンズ L_{11} の入射面からレンズ L_{18} の入射面までが、マージナル光線高に関する条件 $2h_{max}/3 \leq h$ を満足しているが、この条件の成り立つ範囲内において色収差補正効果が非常に大きくなっていることが第9図から分かる。第10図および第11図は、レンズ L_{18} と L_{11} の間のほぼ $2h_{max}/3 = h$ となる位置にフレネルレンズを配置したときの、この投影レンズ系の収差曲線図である。これらの図と第4図・第5図、第6図・第7図とを比較すると、第6図・第7図ではフレネルレンズを設けたことより第10・11図よりも色収差が1/2程度に減少しているが、最適位置にフレネルレンズを配置した第4図・第5図よりはその収差補正効果が小さくなっていることがわかる。

【0022】尚、本実施例では、フレネルレンズ2を平

8

凸タイプの非球面フレネルレンズとしたが、フレネルレンズの場合には通常のレンズのように球面と非球面とで製作の難易度に著しい差が生ずることはなく、単に回折格子のピッチの分布を変えるだけで球面型にも非球面型にも出来るので、必要に応じてどちらのタイプも選択出来るという利点がある。したがって、エキシマレーザー等の紫外域を光源とする投影レンズ系の色収差補正を可能にするとともに、色収差以外の他の収差の向上も図ることが出来る。

【0023】

【発明の効果】本発明によれば、単一硝材を用いた場合でも色収差が良好に補正されたレンズ系を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】フレネルレンズの断面図。

【図2】屈折レンズの断面図。

【図3】本発明を適用した投影レンズの一実施例の断面図。

【図4】第3図に示した実施例の収差曲線図。

【図5】第3図に示した実施例の収差曲線図。

【図6】第3図に示したレンズ系からフレネルレンズを除去した場合の収差曲線図。

【図7】第3図に示したレンズ系からフレネルレンズを除去した場合の収差曲線図。

【図8】第3図に示した実施例のレンズ系中でのマージナル光線高を示す図。

【図9】フレネルレンズの配置と色収差補正効果との関係を示す図。

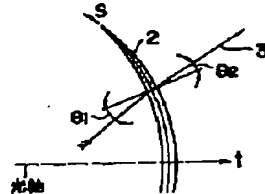
【図10】フレネルレンズを第3図に示したレンズ系のマージナル光線高が比較的低い位置に配置した場合の収差曲線図。

【図11】フレネルレンズを第3図に示したレンズ系のマージナル光線高が比較的低い位置に配置した場合の収差曲線図。

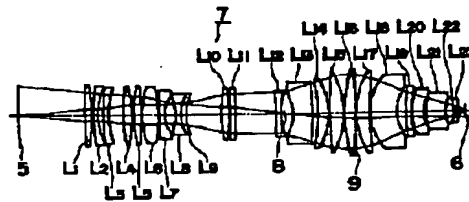
【図1】



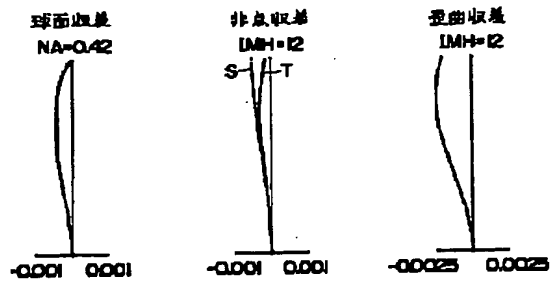
【図2】



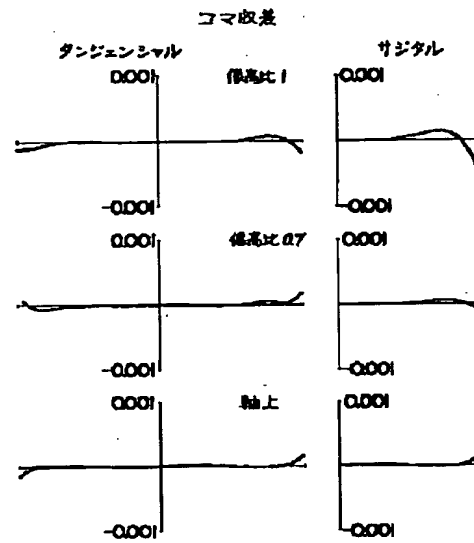
【図3】



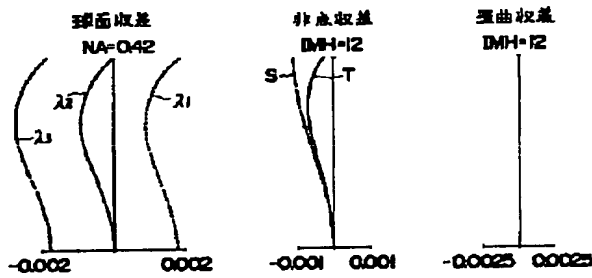
【図4】



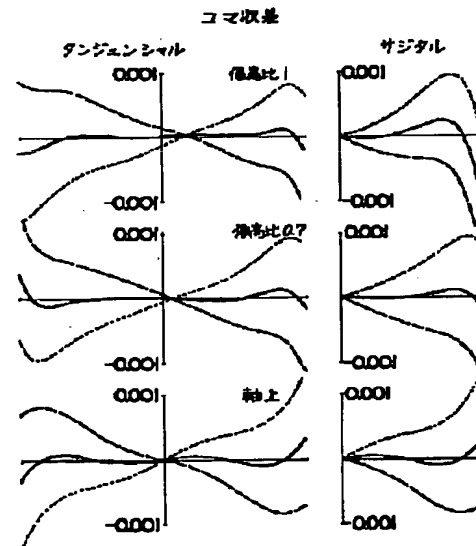
【図5】



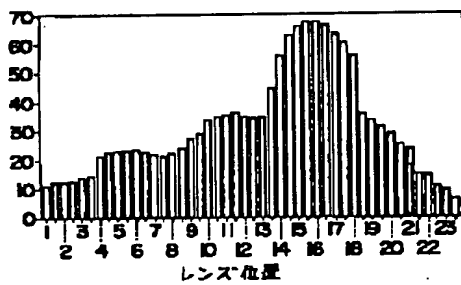
【図6】



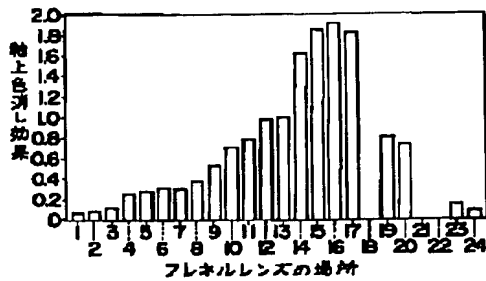
【図7】



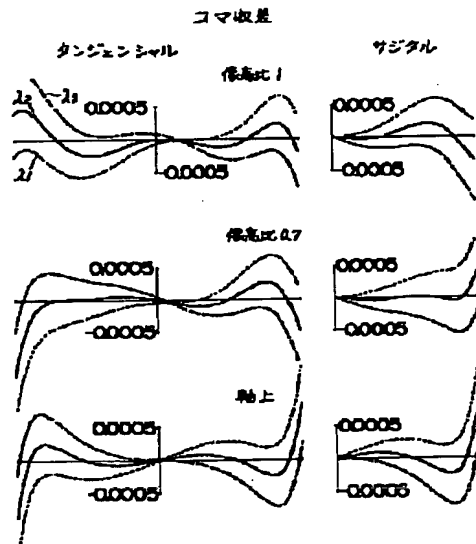
【図8】



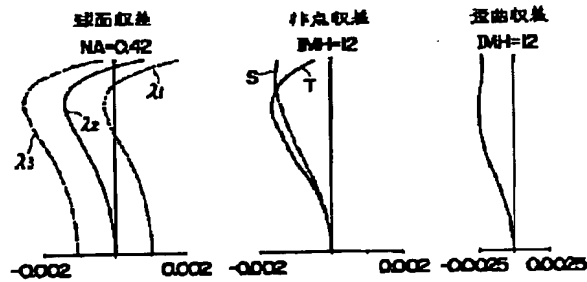
【図9】



【図11】



【図10】



【手続補正書】

【提出日】平成4年1月16日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正内容】

【0006】図1は本発明で用いられるフレネルレンズの光軸を含む断面図である。フレネルレンズ1は、基板上にブレイズングされた（基板平面に対して傾斜した）同心円状の溝を切ることにより構成された球面あるいは非球面特性を持つ平凸レンズの形状を有している。この種のフレネルレンズを通常の屈折系と同様に扱って既存のレンズ設計システムにより設計する手法として、W. C. Sweattの論文（J. Opt. Soc. Am. vol. 169, No. 3, March, 197

9）により知られているウルトラ・ハイ・インデックス法がある。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正内容】

【0007】図2はその考え方を説明するために、通常の屈折レンズの光軸を含む断面内を光線が矢印の方向に進行する状態を示す図である。先の論文によれば、レンズ2への光線3の入射角を θ_1 、射出角を θ_2 、光軸方向の座標を t 、レンズの基板方向の座標を s とすると、レンズの屈折率 n を ∞ 、厚さ t を0とする極限において、光線追跡式は次式により与えられる。

$$(n-1) (dt/ds) = \sin \theta_1 - \sin \theta_2 \cdots (1)$$

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0009

【補正方法】変更

【補正内容】

【0009】さて、(3) 式を偏微分して得られる
 $(Dn/D\lambda)(dt/ds) = m/p$

と(3)式とから

$$Dn/D\lambda = (n-1)/\lambda \cdots (4)$$

という関係が導かれる。ここで、 $Dn/D\lambda$ は偏微分を表わすものとする。この式により3つの波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 （ここでは $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ とする）に対する薄肉レンズの屈折率 n_1 、 n_2 、 n_3 を求めると、

$$\begin{aligned} n_3 &= n_1 + (Dn/D\lambda)(\lambda_3 - \lambda_1) \\ &= n_1 + (\lambda_1 - \lambda_2)(n_2 - 1)/\lambda_2 \\ n_2 &= n_1 + (\lambda_1 - \lambda_2)(n_3 - 1)/\lambda_3 \end{aligned}$$

となる。波長 λ_2 を基準としてこれら3つの波長に対するアッペ数 ν_2 を求めると、上で求めた屈折率を用いて

$$\begin{aligned} \nu_2 &= (n_2 - 1)/(n_3 - n_1) \\ &= \lambda_2/(\lambda_3 - \lambda_1) \end{aligned}$$

となる。 $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ の関係よりこのフレネルレンズのアッペ数は負の値となり、いわゆる逆分散特性を持つことになる。本発明においては、この逆分散特性を利用して単一硝材から成る投影レンズ系の色収差を補正する。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0010

【補正方法】変更

【補正内容】

【0010】一般に、レンズ系の色収差を補正するためには薄肉近似において

$$\Sigma h^2/f\nu = 0$$

なる条件を満たすことが必要である。しかし、単一の硝材からなる屈折レンズ系による実像の結像では

$$\Sigma h^2/f\nu = (1/\nu)\Sigma h^2/f > 0$$

となるため、完全には色収差を補正できない。ここで h

は各レンズにおけるマージナル光線高、 f は各レンズの焦点距離、 ν は各レンズのアッペ数である。しかし、焦点距離が適当な正の値を持つフレネルレンズを用いると、そのアッペ数が負の値を持つので色消し条件を満たさせることができる。すなわち、フレネルレンズの位置でのマージナル光線高を h 、フレネルレンズの焦点距離を f 、アッペ数を ν とすると、通常のレンズに起因する項を打ち消して、

$$\Sigma h^2/f\nu + \Sigma h^2/f\nu_0 = 0$$

とすることができるのである。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正内容】

【0011】ところで、フレネルレンズの最小ピッチを一定にした場合、フレネルレンズの焦点距離 f はほぼ

$$f = ky \quad (k: \text{定数})$$

によって与えられるので、フレネルレンズによる色消し量はほぼ

$$\begin{aligned} h^2/f\nu_0 &= h^2/k\nu_0 y \\ &= k' h^2/y \cdots (5) \end{aligned}$$

となる。ここで $k' = 1/k\nu_0$ である。したがって、大きな色消し効果を得るためには、 h^2/y が大きい箇所にフレネルレンズを配置すれば良い。具体的には、光学系の中での h^2/y の最大値を $(h^2/y)_{\max}$ とすると

$$(2/3)(h^2/y)_{\max} \leq h^2/y \cdots (6)$$

を満足する一にフレネルレンズを配置することが望ましい。しかし、実際の縮小投影レンズ系において、上式を満足する位置では一般に

$$h=y$$

がほぼ成り立つので、(5)式、(6)式は以下のように書き換えられる。

$$h^2/f\nu_0 = k' h \cdots (5')$$

$$2h_{\max}/3 \leq h \cdots (6')$$

よって、(5')式より、フレネルレンズの色消し効果はマージナル光線高に比例すると考えて良い。したがって、実用上十分な色収差補正効果を得るためには、フレネルレンズをマージナル光線高の大きい箇所に配置する必要がある。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正内容】

【0012】本発明ではフレネルレンズを投影レンズ系の瞳から外れた位置に配置しているが、この構成によりフレネルレンズの収差補正作用が軸外収差にも及ぶようになるため、色収差だけでなく非点収差、コマ収差も補正することができるので好ましい。特にフレネルレンズには通常の屈折レンズと異なり非常に高い屈折率を持つレンズと等価な作用があるので、諸収差の補正上極めて有用である。また、フレネルレンズのピッチを変えるだけで容易に非球面作用を持たせることができる点も諸収差の補正上好都合である。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正内容】

【0014】

【実施例】第3図は本発明を適用した投影露光装置用投

影レンズ系の一例の光軸を含む断面図である。図中、5は物体面、6は像面、7は投影レンズ系、8は投影レンズ系7の瞳位置、9はフレネルレンズである。この投影レンズ系はレンズ L_1 と L_2 、およびレンズ L_{12} と L_{13} という互いに凹面を向かい合わせたレンズ群を2組備えており、各レンズ群の間に正レンズ群を配置している。この構成により、前記凹面での光線高を比較的小さくして凹面の負の屈折力を強くし、ベッツバル和の補正を可能としている。レンズ系内でのマージナル光線高の最大値 h_{max} と最小値 h_{min} との比が $h_{min}/h_{max} < 1/2$ となるようにするとより好ましい。このレンズ系の数値データを以下に示すが、データ中においてはフレネルレンズの基板の厚さは0とし、フレネルレンズを厚さのない回折面として扱っている。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】変更

【補正内容】

【0015】 $NA=0.48$ 、 $\phi=24$ 、 $\beta=1/5$ 、 $OB=-120$ 、 $SK=12.0$ 、 $EXP=399.9$ 、 $\lambda_2=248.38\text{nm}$

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0017

【補正方法】変更

【補正内容】

【0017】数値例において、 R_1 は各レンズ面の曲率半径、 D_1 は各レンズ面の間隔、 NA は像側開口数、 ϕ は露光範囲の直径、 β は縮小投影倍率、 OB は物体位置、 SK は像位置、 EXP は瞳位置、 λ_2 は設計基準波長である。

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

【補正内容】

【0018】この実施例では、レンズ L_1 ないし L_{23} がいずれも屈折率が1.50838の合成石英から成っている。一方、フレネルレンズ9は色消し波長を $\lambda_1=248.38\text{nm}+10\text{pm}$ 、 $\lambda_2=248.38\text{nm}-10\text{pm}$ に設定し、屈折率を $n=10001$ としてウルトラ・ハイ・インデックス法にのっとり設計したものである。このフレネルレンズのアッペ数 ν_s は式(3)より

$$\begin{aligned}\nu_s &= 248.38 / (248.37 - 248.39) \\ &= -12419 < 0\end{aligned}$$

となり、負の値になる。なお、可視光に対するアッペ数も

$$\begin{aligned}\nu_s &= \lambda_s / (\lambda_r - \lambda_c) \\ &= -3.45\end{aligned}$$

となり、負の値となる。第4図および第5図はこのレンズ系の収差曲線図である。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正内容】

【0019】一方、第6図および第7図はこのレンズ系からフレネルレンズを除去し、屈折レンズのみで最適化を行ったレンズ系の収差曲線図である。第4図・第5図と第6図・第7図とを比較すると、フレネルレンズを利用することにより色収差が良好に補正されていることがわかる。また、色収差のみならず、非点収差・コマ収差等も向上している。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正内容】

【0020】第8図は投影レンズの各レンズ面におけるマージナル光線の光線高を示す図、第9図は最小フレネルピッチを固定した際のフレネルレンズによる色消し量 Δ を示す図である。ここで、 $\Delta = Ch^2 / yd$ で、 C は比例定数、 h はマージナル光線高、 y はフレネルレンズの有効半径、 d は最小フレネルピッチである。第8図の横軸の数字はレンズの番号で、数字「1」で示されているのがレンズ L_1 の入射面、その隣がレンズ L_1 の射出面、数字「2」がレンズ L_2 の入射面、・・・のように表示してある。また、第9図の横軸はフレネルレンズを配置したレンズ間隔の番号で、物体とレンズ L_1 の間を「1」、レンズ L_1 と L_2 の間を「2」・・・として示してあり、縦軸は $h^2 / f \nu_s$ の大きさをフレネルレンズを瞳においた時の値で規格化して表示してある。この図からフレネルレンズはマージナル光線高が高い位置においたほうが色収差補正効果が大きいことが分かる。なお、間隔「18」「21」「22」にフレネルレンズを配置した場合については色収差補正効果を計算していないため、空白とした。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0021

【補正方法】変更

【補正内容】

【0021】第8図より、レンズ L_{14} の入射面からレンズ L_{15} の入射面までが、マージナル光線高に関する条件 $2h_{max}/3 \leq h$ を満足しているが、この条件の成り立つ範囲内において色収差補正効果が非常に大きくなっていることが第9図

から分かる。第10図および第11図は、レンズ L_{13} と L_{14} の間のほぼ $2h_{MAX}/3=h$ となる位置にフレネルレンズを配置し最適化を行ったときの、この投影レンズ系の収差曲線図である。これらの図と第4図・第5図、第6図・第7図とを比較すると、第10・11図ではフレネルレンズを設けたことより第6図・第7図よりも色収差が $1/2$ 程度に減少しているが、最適位置にフレネルレンズを配置した第4図・第5図よりはその収差補正効果が小さくなっていることがわかる。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正内容】

【0022】尚、本実施例では、フレネルレンズ9を平凸タイプの球面フレネルレンズとしたが、フレネルレンズの場合には通常のレンズのように球面と非球面とで製作の難易度に著しい差が生ずることはなく、単に回折格子のピッチの分布を変えるだけで球面型にも非球面型にも出来るので、必要に応じてどちらのタイプも選択出来るという利点がある。したがって、エキシマレーザー等の紫外域を光源とする投影レンズ系の色収差補正を可能にするともに、色収差以外の他の収差の向上も図ることが出来る。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図6

【補正方法】変更

【補正内容】

【図6】図3に示したレンズ系からフレネルレンズを除去し屈折レンズのみで最適化を行った場合の収差曲線図。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図7

【補正方法】変更

【補正内容】

【図7】図3に示したレンズ系からフレネルレンズを除去し屈折レンズのみで最適化を行った場合の収差曲線図。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図10

【補正方法】変更

【補正内容】

【図10】図3に示したレンズ系からフレネルレンズを除去、代わりにマージナル光線高が比較的低い位置にフレネルレンズ配置して最適化を行った場合の収差曲線図。

【手続補正18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図11

【補正方法】変更

【補正内容】

【図11】図3に示したレンズ系からフレネルレンズを除去、代わりにマージナル光線高が比較的低い位置にフレネルレンズ配置して最適化を行った場合の収差曲線図。

【手続補正19】

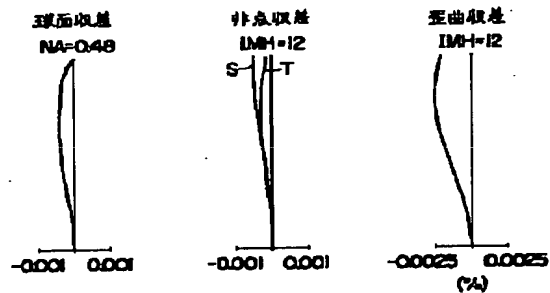
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図4

【補正方法】変更

【補正内容】

【図4】



【手続補正2】

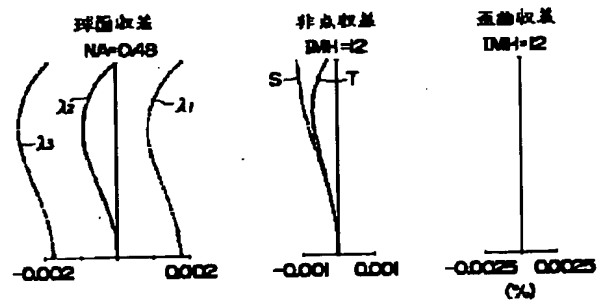
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図6

【補正方法】変更

【補正内容】

【図6】



【手続補正21】

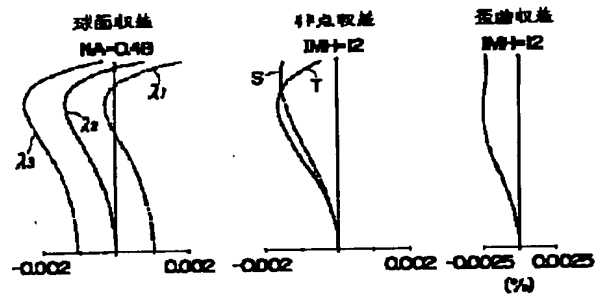
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図10

【補正方法】変更

【補正内容】

【図10】



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第2区分

【発行日】平成10年(1998)12月18日

【公開番号】特開平4-214516

【公開日】平成4年(1992)8月5日

【年通号数】公開特許公報4-2146

【出願番号】特願平2-410271

【国際特許分類第6版】

G02B 13/24

【FI】

G02B 13/24

【手続補正書】

【提出日】平成4年1月16日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正内容】

【0006】図1は本発明で用いられるフレネルレンズの光軸を含む断面図である。フレネルレンズ1は、基板上にブレイジングされた(基板平面に対して傾斜した)同心円状の溝を切ることにより構成された球面あるいは非球面特性を持つ平凸レンズの形状を有している。この種のフレネルレンズを通常の屈折系と同様に扱って既存のレンズ設計システムにより設計する手法として、W. C. Sweattの論文(J. Opt. Soc. A m. vol. 169, No. 3, March, 197 *

$$(n-1)(dt/ds) = \sin \theta_1 - \sin \theta_2 \dots (1)$$

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0009

【補正方法】変更

【補正内容】

【0009】さて、(3) 式を偏微分して得られる

$$(Dn/D\lambda)(dt/ds) = m/p$$

と(3)式とから

$$Dn/D\lambda = (n-1)/\lambda \dots (4)$$

という関係が導かれる。ここで、 $Dn/D\lambda$ は偏微分を表わすものとする。この式により3つの波長 λ_1 、

λ_2 、 λ_3 、(ここでは $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ とする)に対する薄肉レンズの屈折率 n_1 、 n_2 、 n_3 を求めると、

$$n_3 = n_2 + (Dn/D\lambda)(\lambda_3 - \lambda_2)$$

$$= n_2 + (\lambda_3 - \lambda_2)(n_2 - 1)/\lambda_2$$

$$n_1 = n_2 + (\lambda_1 - \lambda_2)(n_2 - 1)/\lambda_2$$

となる。波長 λ_1 を基準としてこれら3つの波長に対するアッペ数 ν_1 を求めると、上で求めた屈折率を用いて

$$\nu_2 = (n_2 - 1)/(n_3 - n_1)$$

$$= \lambda_2 / (\lambda_3 - \lambda_1)$$

* 9)により知られているウルトラ・ハイ・インデックス法がある。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正内容】

【0007】図2はその考え方を説明するために、通常の屈折レンズの光軸を含む断面内を光線が矢印の方向に進行する状態を示す図である。先の論文によれば、レンズ2への光線3の入射角を θ_1 、射出角を θ_2 、光軸方向の座標を t 、レンズの基板方向の座標を s とすると、レンズの屈折率 n を ∞ 、厚さ t を0とする極限において、光線追跡式は次式により与えられる。

$$(n-1)(dt/ds) = \sin \theta_1 - \sin \theta_2 \dots (1)$$

となる。 $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ の関係よりこのフレネルレンズのアッペ数は負の値となり、いわゆる逆分散特性を持つことになる。本発明においては、この逆分散特性を利用して単一硝材から成る投影レンズ系の色収差を補正する。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0010

【補正方法】変更

【補正内容】

【0010】一般に、レンズ系の色収差を補正するためには薄肉近似において

$$\sum h_i^2 / f_i \nu_i = 0$$

なる条件を満足することが必要である。しかし、単一の硝材からなる屈折レンズ系による実像の結像では

$$\sum h_i^2 / f_i \nu_i = (1/\nu) \sum h_i^2 / f_i > 0$$

となるため、完全には色収差を補正できない。ここで h_i は各レンズにおけるマージナル光線高、 f_i は各レンズの焦点距離、 ν_i は各レンズのアッペ数である。しかし、焦点距離が適当な正の値を持つフレネルレンズを用

いると、そのアッペ数が負の値を持つので色消し条件を満足させることができる。すなわち、フレネルレンズの位置でのマージナル光線高を h_1 、フレネルレンズの焦点距離を f_1 、アッペ数を ν_0 。とすると、通常のレンズに起因する項を打ち消して、

$$\Sigma h_1^2 / f_1 \nu_0 + \Sigma h_1^2 / f_1 \nu_0 = 0$$

とすることができるのである。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正内容】

【0011】ところで、フレネルレンズの最小ピッチを一定にした場合、フレネルレンズの焦点距離 f はほぼ $f = k y$ (k : 定数) によって与えられるので、フレネルレンズによる色消し量はほぼ

$$h^2 / f \nu_0 = h^2 / k \nu_0 y \\ = k' h^2 / y \quad \dots (5)$$

となる。ここで $k' = 1/k \nu_0$ である。したがって、大きな色消し効果を得るためには、 h^2 / y が大きい箇所にフレネルレンズを配置すれば良い。具体的には、光学系の中で h^2 / y の最大値を $(h^2 / y)_{max}$ とすると

$$(2/3) (h^2 / y)_{max} \leq h^2 / y \quad \dots (6)$$

を満足する一にフレネルレンズを配置することが望ましい。しかし、実際の縮小投影レンズ系において、上式を満足する位置では一般に

$$h = y$$

がほぼ成り立つので、(5)式、(6)式は以下のように書き換えられる。

$$h^2 / f \nu_0 = k' h \quad \dots (5')$$

$$2 h_{max} / 3 \leq h \quad \dots (6')$$

よって、(5')式より、フレネルレンズの色消し効果はマージナル光線高に比例すると考えて良い。したがって、実用上十分な色収差補正効果を得るためには、フレネルレンズをマージナル光線高の大きい箇所に配置する必要がある。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正内容】

【0012】本発明ではフレネルレンズを投影レンズ系の瞳から外れた位置に配置しているが、この構成によりフレネルレンズの収差補正作用が軸外収差にも及ぶようになるため、色収差だけでなく非点収差、コマ収差も補正することができるので好ましい。特にフレネルレンズには通常の屈折レンズと異なり非常に高い屈折率を持つレンズと等価な作用があるので、諸収差の補正上極めて

有用である。また、フレネルレンズのピッチを変えるだけで容易に非球面作用を持たせることができる点も諸収差の補正上好都合である。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正内容】

【0014】

【実施例】第3図は本発明を適用した投影露光装置用投影レンズ系の一例の光軸を含む断面図である。図中、5は物体面、6は像面、7は投影レンズ系、8は投影レンズ系7の瞳位置、9はフレネルレンズである。この投影レンズ系はレンズ L_1 と L_2 、およびレンズ L_{12} と L_{13} という互いに凹面を向かい合わせたレンズ群を2組備えており、各レンズ群の間に正レンズ群を配置している。この構成により、前記凹面での光線高を比較的小さくして凹面の負の屈折力を強くし、ベッツパル和の補正を可能としている。レンズ系内でのマージナル光線高の最大値 h_{max} と最小値 h_{min} との比が

$$h_{min} / h_{max} < 1/2$$

となるようにするとより好ましい。このレンズ系の数値データを以下に示すが、データ中においてはフレネルレンズの基板の厚さは0とし、フレネルレンズを厚さのない回折面として扱っている。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】変更

【補正内容】

【0015】 $NA = 0.48$ 、 $\phi = 24$ 、 $\beta = 1/5$ 、 $OB = -120$ 、 $SK = 12.0$ 、 $EXP = 399.9$ 、 $\lambda_d = 248.38 \text{ nm}$

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0017

【補正方法】変更

【補正内容】

【0017】数値例において、 R_i は各レンズ面の曲率半径、 D_i は各レンズ面の間隔、 NA は像側開口数、 ϕ は露光範囲の直径、 β は縮小投影倍率、 OB は物体位置、 SK は像位置、 EXP は瞳位置、 λ_d は設計基準波長である。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

【補正内容】

【0018】この実施例では、レンズ L_1 、ないし L_{12} がいずれも屈折率が1.50838の合成石英から成っている。一方、フレネルレンズ9は色消し波長を $\lambda_1 = 248.38 \text{ nm}$

$m + 10 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_s = 248.38 \text{ nm} - 10 \mu\text{m}$ に設定し、屈折率を $n = 1000$ としてウルトラ・ハイ・インデックス法にのっとり設計したものである。このフレネルレンズのアップ数 ν_s は式(3)より

$$\nu_s = 248.38 / (248.37 - 248.39) \\ = -12419 < 0$$

となり、負の値になる。なお、可視光に対するアップ数も

$$\nu_s = \lambda_s / (\lambda_r - \lambda_c) \\ = -3.45$$

となり、負の値となる。第4図および第5図はこのレンズ系の収差曲線図である。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正内容】

【0019】一方、第6図および第7図はこのレンズ系からフレネルレンズを除去し、屈折レンズのみで最適化を行ったレンズ系の収差曲線図である。第4図・第5図と第6図・第7図とを比較すると、フレネルレンズを利用することにより色収差が良好に補正されていることがわかる。また、色収差のみならず、非点収差・コマ収差等も向上している。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正内容】

【0020】第8図は投影レンズの各レンズ面におけるマージナル光線の光線高を示す図、第9図は最小フレネルピッチを固定した際のフレネルレンズによる色消し量 Δ を示す図である。ここで、 $\Delta = Ch^2 / yd$ で、 C は比例定数、 h はマージナル光線高、 y はフレネルレンズの有効半径、 d は最小フレネルピッチである。第8図の横軸の数字はレンズの番号で、数字「1」で示されているのがレンズ L_1 の入射面、その隣がレンズ L_2 の射出面、数字「2」がレンズ L_2 の入射面、・・・のように表示してある。また、第9図の横軸はフレネルレンズを配置したレンズ間隔の番号で、物体とレンズ L_1 の間を「1」、レンズ L_1 と L_2 の間を「2」・・・として示してあり、縦軸は $h^2 / f \nu_s$ の大きさをフレネルレンズを瞳においた時の値で規格化して表示してある。この図からフレネルレンズはマージナル光線高が高い位置においたほうが色収差補正効果が大きいことが分かる。なお、間隔「18」「21」「22」にフレネルレンズを配置した場合については色収差補正効果を計算していないため、空白とした。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0021

【補正方法】変更

【補正内容】

【0021】第8図より、レンズ $L_{1,4}$ の入射面からレンズ $L_{1,4}$ の入射面までが、マージナル光線高に関する条件 $2h_{max} / 3 \leq h$

を満足しているが、この条件の成り立つ範囲内において色収差補正効果が非常に大きくなっていることが第9図から分かる。第10図および第11図は、レンズ $L_{1,3}$ と $L_{1,4}$ の間のほぼ $2h_{max} / 3 = h$ となる位置にフレネルレンズを配置し最適化を行ったときの、この投影レンズ系の収差曲線図である。これらの図と第4図・第5図、第6図・第7図とを比較すると、第10・11図ではフレネルレンズを設けたことより第6図・第7図よりも色収差が1/2程度に減少しているが、最適位置にフレネルレンズを配置した第4図・第5図よりはその収差補正効果が小さくなっていることがわかる。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正内容】

【0022】尚、本実施例では、フレネルレンズ9を平凸タイプの球面フレネルレンズとしたが、フレネルレンズの場合には通常のレンズのように球面と非球面とで製作の難易度に著しい差が生ずることはなく、単に回折格子のピッチの分布を変えるだけで球面型にも非球面型にも出来るので、必要に応じてどちらのタイプも選択出来るという利点がある。したがって、エキシマレーザー等の紫外域を光源とする投影レンズ系の色収差補正を可能にするとともに、色収差以外の他の収差の向上も図ることが出来る。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図6

【補正方法】変更

【補正内容】

【図6】図3に示したレンズ系からフレネルレンズを除去し屈折レンズのみで最適化を行った場合の収差曲線図。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図7

【補正方法】変更

【補正内容】

【図7】図3に示したレンズ系からフレネルレンズを除去し屈折レンズのみで最適化を行った場合の収差曲線図。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図10

*【補正内容】

【補正方法】変更

【図4】

【補正内容】

【図10】図3に示したレンズ系からフレネルレンズを除き、代わりにマージナル光線高が比較的低い位置にフレネルレンズ配置して最適化を行った場合の収差曲線図。

【手続補正18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図11

【補正方法】変更

【補正内容】

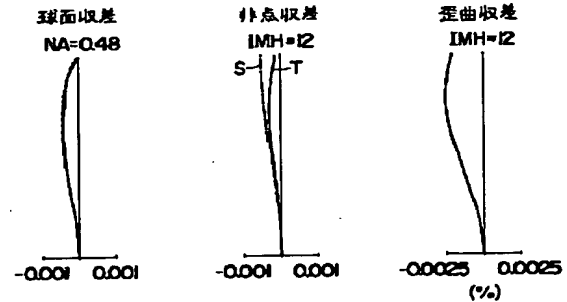
【図11】図3に示したレンズ系からフレネルレンズを除き、代わりにマージナル光線高が比較的低い位置にフレネルレンズ配置して最適化を行った場合の収差曲線図。

【手続補正19】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図4

【補正方法】変更



【手続補正20】

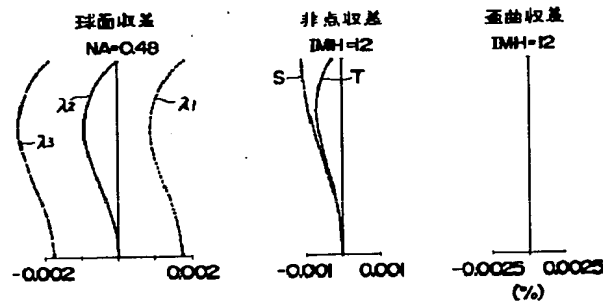
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図6

【補正方法】変更

【補正内容】

*【図6】



【手続補正21】

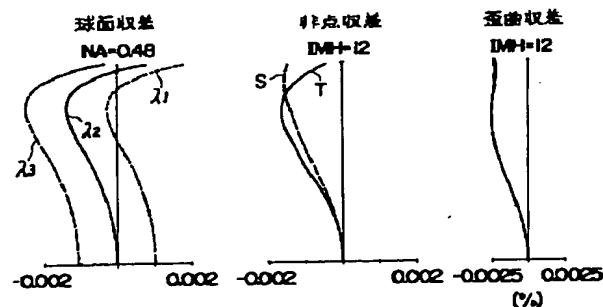
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図10

※【補正方法】変更

【補正内容】

※【図10】



【手続補正書】

【提出日】平成9年6月13日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】投影レンズ系であって、逆分散特性を有するフレネルレンズを含む複数のレンズからなり、前記フレネルレンズを、前記投影レンズ系の瞳以外の位置で且つ以下の条件を満足する位置に配置したことを特徴とする投影レンズ系。

$$2h_{max}/3 \leq h$$

但し、 h_{max} は前記投影レンズ系内における最大マージナル光線高、 h は前記フレネルレンズの位置におけるマージナル光線高である。

【請求項2】請求項1記載の投影レンズ系において、前記フレネルレンズが非球面作用を有することを特徴とする投影レンズ系。

【請求項3】請求項1記載の投影レンズ系において、前記複数のレンズが単一の硝材で構成されることを特徴とする投影レンズ系。

【請求項4】請求項1記載の投影レンズ系において、該投影レンズ系が、互いに凹面を向かい合わせたレンズを含むレンズ群を2組備え、該2組のレンズ群の間に正レンズ群が配置されることを特徴とする投影レンズ系。

【請求項5】請求項4記載の投影レンズ系において、該投影レンズ系内におけるマージナル光線高の最大値 h_{max} と最小値 h_{min} との比が以下の条件を満足することを特徴とする投影レンズ系。

$$h_{min}/h_{max} < 1/2$$

【請求項6】請求項1記載の投影レンズ系と、300nmから150nmの範囲に波長帯域を有する光源とを含む投影露光装置。

【請求項7】請求項6記載の投影露光装置において、前記光源がエキシマレーザーであることを特徴とする投影露光装置。